

PENGARUH UKURAN SERAT SELULOSA ASETAT DAN PENAMBAHAN DIETILEN GLIKOL (DEG) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK BIOPLASTIK

INFLUENCE OF CELLULOSE ACETATE FIBERS SIZE AND DIETHYLEN GLIKOL (DEG) ADDITION ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIOPLASTICS

Nur Alim Bahmid^{1)*}, Khaswar Syamsu¹⁾, dan Akhiruddin Maddu²⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga 16002, Indonesia
E-mail: alimbahmid@yahoo.com

²⁾Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Environmental awareness has become a driving factor in the development of bioplastics as substitute for conventional plastics. One of potential bioplastic raw material is cellulose, but it has the mechanical properties of bioplastic that still not comparable to conventional plastic so need effort to the improvement. The mechanical strength of cellulose fibres influenced by fiber diameter so that required size reduction to be nanofibre. The objectives of this study were to compare the mechanical properties of bioplastics made from microfibre and nanofibre cellulose acetate and to determine influence of diethylene glycol (DEG) plasticizer on mechanical properties of bioplastics resulted. This study consisted of the production of cellulose acetate from cellulose of oil palm empty fruit bunches, synthesis of cellulose acetate nanofibre using electrospinning method, and production of bioplastics using solution casting method with treatment of cellulose acetate fibres size (microfibre or nanofibre) and addition of DEG plasticizers (0, 10, 20, and 30%). The results of this study show that the mechanical properties of nanofiber bioplastics were better than those of microfibre bioplastic. The addition of plasticizers increased elongation, water absorption, and density, but decreased the tensile strength and modulus of elasticity of bioplastics. The best treatment was resulted from bioplastic of cellulose acetate nanofibre with plasticizer concentration of 10%. Its mechanical properties were tensile strength of 18.560 MPa, elongation 3.9%, elastic modulus 0.676 GPa, water absorption 16.8%, and density of 1.045 g/cm³.

Keywords: cellulose acetate, bioplastics, nanofibre, electrospinning, mechanical properties

ABSTRAK

Kesadaran lingkungan menjadi pendorong utama dalam pengembangan bioplastik sebagai pengganti plastik konvensional. Salah satu bahan baku potensial bioplastik yaitu selulosa, tetapi memiliki sifat mekanik bioplastik yang masih belum sebanding dengan plastik konvensional sehingga perlu upaya untuk perbaikan. Kekuatan mekanik pada serat selulosa dipengaruhi oleh diameter serat sehingga diperlukan pengecilan ukuran hingga menjadi *nanofiber*. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan sifat mekanik bioplastik dari *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat dan mengetahui pengaruh penambahan pemlastis dietilen glikol (DEG) terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan. Penelitian ini didahului oleh pembuatan selulosa asetat dari selulosa tandan kosong kelapa sawit dan sintesis *nanofiber* selulosa asetat dengan metode *electrospinning*. Penelitian utama adalah pembuatan bioplastik menggunakan metode *solution casting* dengan perlakuan ukuran serat selulosa asetat (*mikrofiber* atau *nanofiber*) dan penambahan pemlastis DEG (0, 10, 20 dan 30%). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sifat mekanik bioplastik *nanofiber* lebih baik dibanding *mikrofiber* selulosa asetat. Penambahan pemlastis meningkatkan elongasi, daya serap air dan densitas tetapi menurunkan kuat tarik dan modulus elastisitas bioplastik. Berdasarkan sifat fisik dan mekanik, perlakuan terbaik dihasilkan pada bioplastik *nanofiber* selulosa asetat dengan konsentrasi pemlastis 10%. Sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan adalah kuat tarik 18,560 MPa, elongasi 3,953%, modulus elastisitas 0,676 GPa, daya serap air 16,772% dan densitas 1,045 g/cm³.

Kata kunci : selulosa asetat, bioplastik, nanofiber, electrospinning, sifat mekanik

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari mengalami peningkatan sehingga memicu timbulnya masalah terhadap lingkungan. Pentingnya kesadaran terhadap kelestarian lingkungan hidup menjadi faktor utama dalam merancang bahan yang ramah lingkungan dan hemat

energi. Bioplastik adalah material yang dapat digunakan, seperti layaknya plastik konvensional tetapi bioplastik mudah mengalami penguraian oleh mikroorganisme. Penggunaan bioplastik juga memberikan manfaat positif pada pelestarian lingkungan dengan memanfaatkan bahan baku yang dapat diperbaharui dan dapat hancur dilingkungan.

*Penulis untuk korespondensi

Perkembangan teknologi plastik ramah lingkungan dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Berbagai riset telah dilakukan di Indonesia dan negara maju dalam menggali berbagai potensi bahan baku bioplastik. Syamsu *et al.* (2008) telah meneliti bioplastik Poli- β -Hidroksialkanoat (PHA) dari hidrolisat pati sagu namun menghasilkan sifat mekanik bioplastik yang masih sangat rendah. Paramawati *et al.* (2007) telah membuat bioplastik campuran poli asam laktat (PLA) dengan polisakarida menghasilkan sifat mekanik yang tergolong menengah bila dibandingkan dengan beberapa plastik *biodegradable* sejenisnya. PHA dan PLA merupakan polimer yang banyak digunakan pada pembuatan bioplastik tetapi masih memiliki sifat mekanik yang rendah. Bahan baku yang berpotensi untuk pembuatan bioplastik dapat diperoleh dari selulosa biomassa yang tidak termanfaatkan karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Namun, selulosa tidak dapat larut dalam kebanyakan pelarut sehingga tidak dapat langsung diproses menjadi bioplastik (Rachmaniah *et al.*, 2009). Untuk membentuk bioplastik, selulosa diasetilasi dengan asetat anhidrida menghasilkan selulosa asetat.

Selulosa asetat merupakan salah satu jenis polimer alam turunan selulosa yang memiliki struktur mikrofibril terorganisir yang larut dalam berbagai pelarut non-polar. Selulosa asetat memiliki kualitas sangat baik dengan transparansi yang baik, kekuatan tarik tinggi, tahan panas, daya serap air rendah, dan mudah terdegradasi secara alami. Sifat tersebut menjadikan selulosa asetat sangat potensial untuk dikembangkan dalam industri pengemasan, membran dan tekstil. Berbagai riset telah dilakukan di Indonesia maupun negara lain tentang pemanfaatan selulosa asetat diantaranya untuk pembuatan film (Safriani, 2000), membran (Bhongsuwan dan Bhongsuwan, 2008), dan material komposit (Tsiopsis *et al.*, 2010). Aplikasi tersebut bergantung derajat esterifikasi (derajat substitusi) selulosa asetat. Derajat substitusi ditentukan oleh jumlah gugus -OH yang digantikan oleh gugus asetil setelah proses asetilasi. Tahun 2008, aplikasi selulosa asetat terbanyak adalah untuk pembuatan membran sebanyak 690.000 ton dengan derajat substitusi selulosa asetat yaitu 2,5 (Puls *et al.*, 2011).

Pemanfaatan selulosa asetat sebagai polimer penyusun bioplastik masih minim, padahal bioplastik sangat dibutuhkan sebagai pengganti plastik konvensional. Sifat fisik selulosa asetat sangat potensial untuk pembuatan bioplastik. Namun, pengembangan bioplastik masih terkendala pada sifat mekanik yang kurang baik dibanding plastik konvensional. Plastik konvensional memiliki sifat mekanik yang kuat, ketahanan kimia yang tinggi serta harga yang lebih murah. Selulosa sebagai polimer penyusun bioplastik mengandung kadar serat yang tinggi. Kekuatan mekanik pada serat selulosa sangat dipengaruhi oleh diameter serat. Semakin besar diameter serat maka

semakin rendah nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus elastisitas (*modulus of elastic/MOE*) demikian pula sebaliknya (Subyakto *et al.*, 2009).

Nanofiber merupakan serat yang memiliki ukuran diameter nano yang diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Hal ini dikarenakan diameter serat yang lebih kecil sehingga kekuatan tarik dan modulus elastisitas jauh lebih meningkat. Peningkatan kekuatan tarik dan modulus elastisitas disebabkan perbandingan diameter dengan panjang serat menjadi lebih kecil (Subyakto *et al.*, 2009). Sifat mekanik bioplastik juga dipengaruhi oleh bahan tambahan, seperti pemlastis, penstabil, pewarna dan antistatik. Sifat rapuh dan kaku pada bioplastik dapat diperbaiki dengan menambahkan pemlastis. Safriani (2000) telah melakukan pembuatan biofilm selulosa asetat menggunakan 3 (tiga) jenis pemlastis yaitu tributil fosfat, dietilen glikol dan dimetil ftalat. Dari hasil penelitian tersebut, jenis pemlastis terbaik secara berurutan adalah dimetil ftalat, dietilen glikol dan tributil fosfat. Tetapi penggunaan dimetil ftalat mulai dikurangi karena bersifat toksik dan karsinogenik yang dapat menghambat mikroorganisme mengurai bioplastik (Syamsu *et al.*, 2008). Maka dari itu, jenis pemlastis yang tepat digunakan dalam pembuatan bioplastik selulosa asetat adalah dietilen glikol. Selain itu, dietilen glikol (DEG) juga merupakan jenis pemlastis yang banyak digunakan di industri.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan produksi bioplastik dari selulosa asetat dengan metode *solution casting* dan membandingkan sifat mekanik berdasarkan ukuran serat polimer penyusun bioplastik yaitu *mikrofiber* atau *nanofiber* selulosa asetat. *Mikrofiber* merupakan selulosa asetat berukuran mikron yang diperoleh dari sintesis selulosa dengan pereaksi asetat anhidrida. Sedangkan *nanofiber* diperoleh dari sintesis selulosa asetat menggunakan *electrospinning*. Selulosa asetat memiliki sifat yang kaku maka perlu penambahan pemlastis dietilen glikol (DEG) sehingga diharapkan dapat meningkatkan sifat elastis dari bioplastik. Tujuan dari penelitian adalah membuat bioplastik, membandingkan sifat mekanik bioplastik dari *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat, serta mengetahui pengaruh penambahan pemlastis dietilen glikol (DEG) terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Produksi Selulosa Asetat dari Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong sawit berasal dari pabrik kelapa sawit PTPN VII di Banten. Tandan kosong sawit dibersihkan dari cangkang dan minyak. Kemudian dikeringkan dan digunting dengan panjang 5-10 cm. Potongan serat dikeringkan kembali hingga kadar air 4-5%. Selanjutnya 150 g

potongan tandan kosong sawit ditambahkan 1 L HNO_3 3,5% (v/v) p.a (Merck KgaA, Germany) dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam. Ampas disaring dan dicuci hingga filtrat netral kemudian didelignifikasi dengan NaOH 2% (b/v) teknis (Merck KgaA, Germany) dan Na_2SO_3 2% (b/v) teknis (Merck KgaA, Germany) pada suhu 50°C selama 1 jam. Ampas disaring dan dicuci lagi hingga filtrat netral kemudian tambahkan NaOH 17,5% (b/v) p.a (E. Merck) pada suhu 80°C selama 30 menit. Ampas disaring dan dicuci lagi hingga filtrat netral kemudian dimurnikan dengan menambahkan H_2O_2 10% (v/v) dan dipanaskan pada suhu 60°C selama 15 menit. Selulosa dikeringkan dalam oven (Mommert IN110) pada suhu 110°C selama 6 jam (Harahap *et al.*, 2012).

Selulosa ditambahkan asam asetat glasial 1:10 dan diaduk pada suhu 38°C selama 60 menit. Selulosa ditambahkan 2% (v/v) asam sulfat p.a (E. Merck) dan diaduk pada suhu 38°C selama 45 menit. Hasil aktivasi ditambahkan asam asetat anhidrida p.a (E. Merck) dengan perbandingan glasial dan anhidrida 3:2 kemudian diaduk pada suhu 38°C selama 45 menit. Hasil asetilasi ditambahkan akuades dan asam asetat glasial 1:2 dan diaduk pada suhu 50°C selama 30 menit. Larutan disentrifugasi dengan kecepatan 1500 rpm selama 15 menit kemudian diendapkan dalam aquades. Endapan disaring berulang hingga aroma asetat hilang kemudian dikeringkan pada suhu 55°C . Terhadap selulosa asetat yang dihasilkan, dilakukan pengukuran kadar air, kadar asetil, dan pengujian morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (EVO MA 15) (Bahmid *et al.*, 2013).

Sintesis Nanofiber Selulosa Asetat dengan Metode *Electrospinning*

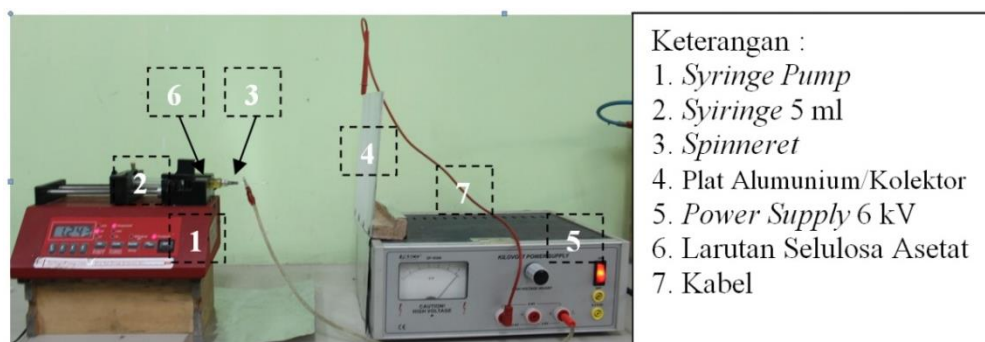
Pembentukan *nanofiber* dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti teknik pemintalan serat multikomponen, *melt blowing*, *high pressure*, *homogenizer*, gelombang ultrasonik dan *electrospinning*. Dari beberapa metode pembuatan *nanofiber*, untuk saat ini *electrospinning* merupakan teknik yang cukup sederhana dan kontinu yang

mampu menghasilkan serat berukuran 0.04 sampai 2 mikron. Selain itu, proses pembuatan *nanofiber* lebih fleksibel, efisien dan mudah dikontrol (Subbiah *et al.*, 2005).

Selulosa asetat ditimbang sebanyak 10 g kemudian dilarutkan dalam 100 mL pelarut aseton:dimetilasetamida p.a (E. Merck) (2:1) sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruangan secara perlahan hingga selulosa asetat larut sempurna. Proses pembuatan nano selulosa asetat menggunakan peralatan *electrospun* (Gambar 1). Tahap awal proses adalah larutan polimer dimasukkan ke dalam *syringe* (Terumo) bervolume 10 mL kemudian ditempatkan di atas *syringe pump* (NE 1000). Larutan dialirkan melalui *syringe* menuju *spinneret*. Ujung logam *spinneret* dihubungkan dengan kutub positif sumber listrik tegangan tinggi. Lembaran plat aluminium dihubungkan dengan kutub negatif yang digunakan sebagai kolektor *nanofiber* yang terbentuk selama proses *electrospinning* berlangsung. Tegangan listrik (Pasco Scientific) yang digunakan dalam penelitian ini 6 kV dan jarak antara *spinneret* dengan kolektor 8 cm. Proses *electrospinning* dilakukan pada temperatur ruangan selama 2,5 jam hingga terbentuk lapisan serat nano pada plat aluminium.

Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dilakukan dengan teknik *solution casting*. Polimer (*nanofiber* atau *mikrofiber* selulosa setat) dilarutkan ke dalam aseton 1:15 pada suhu normal menggunakan *stirrer* magnetik selama 1 jam hingga larut sempurna. Larutan tersebut ditambahkan pemlastis DEG sesuai konsentrasi (0, 10, 20, dan 30%) selanjutnya dicampurkan selama 1 jam hingga homogen. Larutan homogen dituang pada plat kaca $15 \times 17,5$ cm, selanjutnya dikeringkan dalam oven suhu 100°C . Setelah pelarut aseton menguap, lembaran bioplastik dipisahkan dari cetakan. Karakterisasi lembaran bioplastik dilakukan dengan pengujian *tensile strength*, meliputi kuat tarik, elongasi dan modulus elastisitas (ASTM 882-97), pengujian daya serap air (ASTM D570), dan densitas (Rabek, 1983).



Gambar 1. Rangkaian alat *electrospun*

Rancangan Percobaan

Dalam penentuan kondisi terbaik digunakan alat bantu rancangan faktorial dengan dua faktor yaitu ukuran serat selulosa asetat dan konsentrasi pemlastis DEG dengan setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan. Faktor ukuran serat selulosa asetat yaitu *nanofiber* dan *mikrofiber* selulosa asetat sedangkan faktor konsentrasi pemlastis DEG yaitu pada konsentrasi 0, 10, 20, dan 30%.

Model umum untuk rancangan tersebut adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2 ; j = 1, 2, 3, 4 ; k = 1, 2, 3$$

Keterangan :

Y_{ijk}	=	nilai pengamatan pada ukuran serat selulosa asetat taraf ke- i , konsentrasi pemlastis DEG taraf ke- j , dan ulangan ke- k
μ	=	rataan umum
α_i	=	pengaruh ukuran serat selulosa asetat taraf ke- i
β_j	=	pengaruh konsentrasi pemlastis DEG taraf ke- j
$(\alpha\beta)_{ij}$	=	pengaruh interaksi ukuran serat selulosa asetat taraf ke- i dan faktor konsentrasi pemlastis DEG taraf ke- j
ε_{ijk}	=	pengaruh acak pada ukuran serat selulosa asetat taraf ke- i , konsentrasi pemlastis DEG taraf ke- j , dan ulangan ke- k

Kuat tarik plastik (*tensile strength*) dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Kuat Tarik (MPa)} = \frac{F \text{ maksimum (N)}}{\text{tebal (mm)} \times \text{lebar (mm)}}$$

Modulus elastisitas dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{MOE (GPa)} = \frac{\text{gaya tarik (N)} \times \text{panjang bentang batas (mm)}}{\text{tebal (mm)} \times \text{lebar (mm)} \times \text{perubahan pada batas proporsi (mm)}}$$

Pemanjangan putus dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{\text{panjang akhir saat putus (mm)} - \text{panjang awal (mm)}}{\text{panjang awal (mm)}} \times 100\%$$

Pengujian Daya Serap Air (ASTM D570)

Sampel yang digunakan berupa lembaran berukuran 3 inci x 1 inci x ketebalan bahan. Sampel sebelumnya dikeringkan selama 24 jam di dalam oven pada suhu 50°C, didinginkan di desikator dan

Karakterisasi Selulosa Asetat (*Mikrofiber* dan *Nanofiber*) dan Bioplastik

Morfologi selulosa asetat diamati dengan menggunakan SEM. Sifat mekanik dan fisik bioplastik yang diamati meliputi kuat tarik, elongasi dan modulus elastisitas, daya serap air dan densitas.

Pengamatan Morfologi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)

Selulosa asetat (*mikrofiber* atau *nanofiber*) diletakkan sangat tipis merata pada plat kemudian dilapisi dengan lapisan emas dengan waktu *coating* ± 30 detik. Morfologi selulosa asetat diamati menggunakan SEM dengan tegangan 5-15 kV dan perbesaran 2500-5000 kali.

Pengujian Tensile Strength (ASTM 882-97)

Sampel dipreparasi dengan melakukan pemotongan untuk mendapatkan spesimen dengan ukuran 20 x 150 mm. Masing-masing 5 buah spesimen dikondisikan pada suhu 23°C dan kelembaban 50% selama 40 jam sebelum dilakukan pengujian. Pengujian *tensile* dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) 10 kN (*Load Cell* 250 N) dengan kecepatan penarikan sebesar 5 mm/menit (untuk modulus elastisitas) dan 50 mm/menit (untuk *tensile strength*) pada suhu 22,7°C dan kelembaban relatif 52%.

segera ditimbang. Data daya serap air diperoleh dengan merendam sampel dalam air selama 24 jam atau lebih pada suhu 73,4°F. Kemudian sampel dikeringkan dengan kain dan segera ditimbang.

Daya serap air (%) = [penambahan bobot (%) + bahan terlarut yang hilang (%)]

$$\text{Penambahan Bobot (\%)} = \frac{\text{Berat setelah perendaman (g)} - \text{Berat awal (g)}}{\text{Berat awal (g)}} \times 100\%$$

$$\text{Bahan terlarut yang hilang (\%)} = \frac{\text{Berat awal (g)} - \text{Berat setelah pengeringan dan perendaman (g)}}{\text{Berat awal (g)}} \times 100\%$$

Densitas (Rabek, 1983)

Nilai densitas diperoleh dengan cara membagi nilai massa terhadap volume. Pengukuran massa dilakukan dengan menimbang sampel pada timbangan analitik sedangkan volume dihitung dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal sampel.

$$\text{Massa Jenis} = \frac{\text{massa (g)}}{\text{panjang (cm)} \times \text{lebar (cm)} \times \text{tebal (cm)}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Selulosa Asetat (Mikrofiber dan Nanofiber)

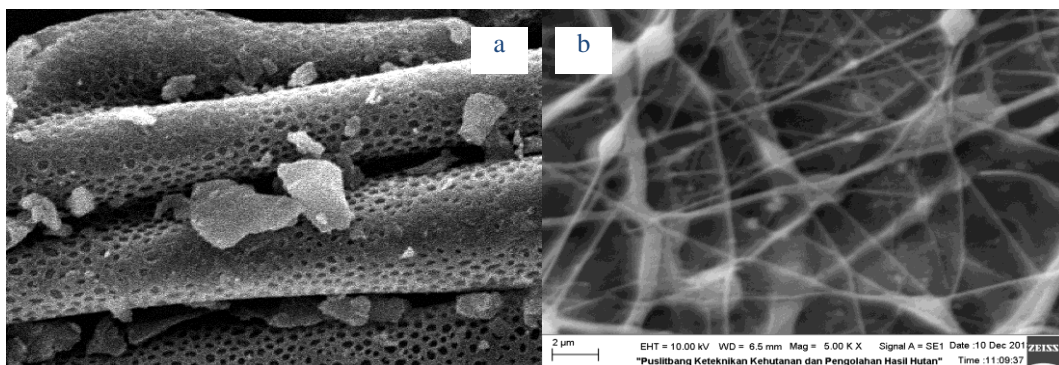
Selulosa tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari beberapa tahap yaitu preparasi, hidrolisis, delignifikasi, *pulping* dan *bleaching*. Karakteristik selulosa tandan kosong kelapa sawit untuk pembuatan selulosa asetat memiliki warna putih berbentuk serbuk, kadar air $4,8 \pm 1,61\%$, dan kadar α -selulosa $94,8 \pm 2,06\%$ (Bahmid *et al.*, 2013).

Selulosa asetat yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil proses asetilasi selulosa tandan kosong kelapa sawit menggunakan asetat anhidrida. Selulosa asetat yang dihasilkan berbentuk serbuk berwarna putih dengan kadar asetil 40,108% dan kadar air 4,65% (Bahmid *et al.*, 2013). Berdasarkan kadar asetilnya, selulosa asetat yang dihasilkan memenuhi syarat mutu selulosa asetat Standar Nasional Indonesia (SNI) (SNI 1991) dan dapat diaplikasikan untuk pembuatan bioplastik dalam pelarut aseton. Hasil ini mengacu pada hubungan kadar asetil, pelarut dan aplikasinya, seperti yang dikemukakan oleh Fengel dan

Wagenenger (1995), selulosa asetat dapat diaplikasikan untuk pembuatan benang atau film pada kadar asetil selulosa asetat 36,5-42,2% dalam pelarut aseton.

Berdasarkan ukuran serat, selulosa asetat yang digunakan untuk pembuatan bioplastik terbagi 2 (dua) yaitu (1) *mikrofiber* selulosa asetat dan (2) *nanofiber* selulosa asetat. Pengamatan morfologi dengan menggunakan mikroskop elektron sebelum dan setelah pembentukan *nanofiber* menggunakan *electrospinning* dapat dilihat pada Gambar 2. Diameter serat *mikrofiber* selulosa asetat tampak sekitar $1,8 \mu\text{m}$ dan morfologi serat berbentuk seperti silinder yang saling menyatu dan memiliki lapisan yang berlubang (Gambar 2a).

Proses *electrospinning* pada selulosa asetat menghasilkan *nanofiber* dengan diameter 134-141,2 nm. *Nanofiber* yang dihasilkan tidak kontinyu dan masih terdapat *beads* (butiran-butiran polimer bukan serat) (Gambar 2b). Pengaruh konsentrasi larutan yang rendah menyebabkan rantai polimer cukup terpisah, interaksi antar polimer diminimalkan dan tegangan permukaan semakin kuat sehingga pembentukan *nanofiber* tidak stabil. Ketidakstabilan tersebut mempengaruhi pula ukuran diameter serat yang tidak seragam. Diameter *nanofiber* yang dihasilkan pada penelitian ini lebih kecil daripada *nanofiber* yang diperoleh Kuzmenko (2012). Diameter *nanofiber* yang dihasilkan Kuzmenko (2012) sebesar 300-1500 nm. *Nanofiber* selulosa asetat komersial (*Sigma Aldrich*) cenderung lebih padat dan lebih baik dibandingkan *nanofiber* yang dihasilkan pada penelitian ini.



Gambar 2. Pengamatan morfologi menggunakan SEM perbesaran 2500x pada *mikrofiber* (Bahmid *et al.*, 2013) (a) dan *nanofiber* (b) selulosa asetat

Pada penelitian Kuzmenko (2012), *nanofiber* disintesis dari *electrospinning* selulosa asetat komersial (*Sigma Aldrich*) dengan konsentrasi 17% (b/v), jarak *spinneret*-kolektor 25 cm pada tegangan 25 kV. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan selulosa asetat dari tandan kosong sawit dengan konsentrasi 10% (b/v), jarak-*spinneret* 8 cm pada tegangan 6 kV. Tegangan listrik yang tinggi menyebabkan *jet* akan lebih cepat mencapai kolektor sebelum ketidakstabilan *jet* yang memintal membentuk nanofiber meningkat (Kowalewsky, 2005). Berdasarkan ukuran diameter, *nanofiber* yang dihasilkan memenuhi syarat perdagangan *nanofiber* dunia dengan diameter kurang dari 500 nm, sedangkan serat yang telah diproduksi dan diperdagangkan mempunyai diameter antara 50-300 nm (Zubaidi, 2008).

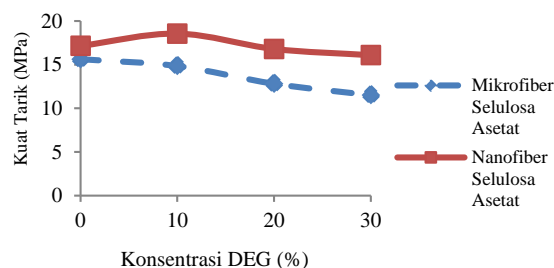
Sifat Mekanik dan Fisik Bioplastik Selulosa Asetat

Nanofiber selulosa asetat diaplikasikan pada pembuatan bioplastik dengan menambahkan pemlastis DEG yang bertujuan untuk meningkatkan elastisitas bioplastik. Sifat selulosa asetat masih kaku dan keras sehingga perlu penambahan pemlastis DEG. Pada penelitian ini, sifat mekanik bioplastik *nanofiber* dibandingkan dengan sifat mekanik bioplastik dari *mikrofiber* selulosa asetat. Sifat mekanik merupakan salah satu faktor penting yang mendasari pemilihan bahan material untuk diaplikasikan dalam produk tertentu. Karakterisasi lembaran bioplastik dapat diperoleh dengan melakukan pengujian sifat mekanik yang mengacu pada standarisasi ASTM. Pengukuran sifat fisik dan sifat mekanik yang dilakukan diantaranya kekuatan tarik, elongasi, modulus elastisitas, daya serap air dan densitas.

Kuat Tarik

Kuat tarik bioplastik *nanofiber* lebih tinggi dibanding bioplastik *mikrofiber* selulosa asetat. Ukuran serat memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tarik bioplastik (Gambar 3). Semakin kecil ukuran serat penyusun selulosa asetat maka semakin tinggi nilai kuat tarik yang dihasilkan. Peningkatan kuat tarik juga terjadi pada penelitian Wicaksono *et al.* (2013) yang membuat film nanoserat dari ampas tapioka. Penambahan nanoserat menghasilkan peningkatan kuat tarik film tapioka yang lebih tinggi dibandingkan dengan film ampas tapioka. Peningkatan kekuatan tarik disebabkan *nanofiber* atau serat yang berukuran nano akan menghasilkan luas permukaan yang besar sehingga mengurangi jumlah rongga yang menyusun bioplastik. Hal ini sesuai pernyataan oleh Lu dan Kessler (2013), bahwa nanopartikel memiliki luas permukaan spesifik lebih besar daripada partikel ukuran mikron, molekul polimer lainnya akan teradsorpsi untuk menutupi permukaan nanopartikel dari massa yang sama sehingga mengurangi rongga pada material.

Kuat tarik menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi pemlastis DEG, kecuali pada konsentrasi 0% menjadi 10% mengalami peningkatan kuat tarik (Gambar 3). Konsentrasi DEG berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik bioplastik (Gambar 3). Penurunan nilai kuat tarik juga dilaporkan oleh Safriani (2000) yang membuat film selulosa asetat dari selulosa mikrobial.



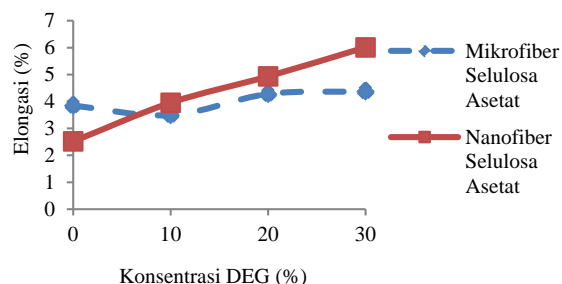
Gambar 3. Hubungan konsentrasi pemlastis pada bioplastik *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat terhadap kuat tarik

Peningkatan konsentrasi DEG dari 17% menjadi 25% menyebabkan terjadinya penurunan kuat tarik dari 355,07 kgf/cm² menjadi 316,81 kgf/cm². Begitupun pada penelitian Delvia (2006) yang membuat bioplastik PHA yang dihasilkan *Ralstonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu. Menurunnya kuat tarik bioplastik PHA dari 0,12 MPa menjadi 0,03 MPa disebabkan meningkatnya konsentrasi DEG dari 10% menjadi 40%. Penurunan kuat tarik disebabkan oleh banyaknya jumlah DEG yang mengisi ruang-ruang diantara molekul polimer selulosa asetat dalam bentuk ikatan hidrogen sehingga jarak antar rantai-rantai polimer selulosa asetat menjadi renggang. Semakin tinggi konsentrasi DEG ditambahkan, semakin tinggi pula ikatan hidrogen yang terbentuk, sehingga kekuatan ikatan pada bioplastik menjadi lemah. Lemahnya ikatan molekul pada bioplastik menyebabkan gaya yang dibutuhkan untuk memutuskan bioplastikpun semakin rendah. Sesuai pernyataan Syamsu *et al.* (2008), bahwa ikatan hidrogen merupakan ikatan yang sangat lemah, lebih lemah dari ikatan kovalen. Pembentukan ikatan hidrogen tersebut menyebabkan peningkatan kecepatan respon viskoelastis dan mobilitas molekuler rantai polimer.

Elongasi

Peningkatan elongasi bioplastik seiring dengan peningkatan konsentrasi pemlastis baik *nanofiber* maupun *mikrofiber* (Gambar 4). Pengaruh konsentrasi DEG pada bioplastik mikrofiber tidak signifikan terhadap peningkatan elongasi bioplastik. Peningkatan elongasi bioplastik tidak signifikan juga dilaporkan oleh Safriani (2000) yang membuat film selulosa asetat dari selulosa mikrobial. Peningkatan konsentrasi pemlastis DEG dari 17% menjadi 25% menyebabkan elongasi pada film meningkat dari 2,41% menjadi 2,96%. Begitupun pada penelitian

Delvia (2006) yang membuat bioplastik dari PHA yang dihasilkan *Ralstonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu. Peningkatan konsentrasi pemlastis DEG dari 0% menjadi 20% menyebabkan peningkatan elongasi bioplastik PHA tidak signifikan dari 7% menjadi 7,01%. Sedangkan pada bioplastik nanofiber, elongasi bioplastik meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi DEG. Peningkatan elongasi disebabkan oleh meningkatnya jumlah ikatan hidrogen yang terbentuk akibat pemlastis mengisi bagian pori-pori pada bioplastik nanofiber. Semakin tinggi ikatan hidrogen maka respon viskoelastisitas pun meningkat. Respon tersebut menyebabkan bioplastik bersifat semakin lentur, lunak, dan elastis. Pernyataan ini didukung oleh pernyataan Hammer (1978) seperti dikutip Delvia (2006) bahwa prinsip kerja pemlastis adalah membentuk interaksi molekuler rantai polimer untuk meningkatkan mobilitas rantai dan kecepatan respon viskoelastis pada polimer.



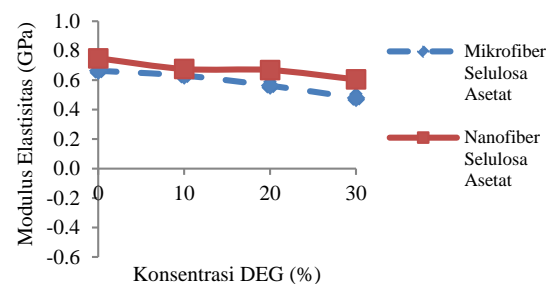
Gambar 4. Hubungan konsentrasi pemlastis pada bioplastik *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat terhadap elongasi

Ukuran serat tidak berpengaruh signifikan terhadap elongasi bioplastik (Gambar 4). Pada pembuatan bioplastik tanpa penambahan pemlastis (DEG 0%), elongasi bioplastik *mikrofiber* lebih tinggi dibandingkan bioplastik *nanofiber*. Bioplastik jenis ini tanpa penambahan pemlastis DEG cenderung mudah sobek. Namun, kondisi tersebut berbanding terbalik setelah penambahan pemlastis DEG. Penambahan DEG menyebabkan elongasi bioplastik *nanofiber* menjadi lebih tinggi dibanding bioplastik *mikrofiber*. Hasil ini terjadi karena ukuran serat *nanofiber* lebih kecil dibandingkan *mikrofiber* sehingga nilai rasio antara luas permukaan dan volume *nanofiber* lebih besar. Rasio antara luas permukaan dan volume yang lebih besar pada *nanofiber* menyebabkan interaksi antara permukaan dengan pemlastis DEG menjadi optimal.

Modulus Elastisitas

Peningkatan konsentrasi DEG seiring dengan penurunan modulus elastisitas pada bioplastik *mikrofiber* maupun *nanofiber* selulosa asetat. Namun, pengaruh konsentrasi DEG tidak signifikan terhadap modulus elastisitas bioplastik (Gambar 5). Penurunan

nilai modulus elastisitas juga dilaporkan oleh Syamsu (2008^b) yang menunjukkan modulus elastisitas bioplastik PHA menurun dari 0,5 GPa menjadi 0,183 GPa disebabkan konsentrasi isopropil Palmitat meningkat dari 0% menjadi 20%. Penambahan pemlastis DEG memicu terjadinya respon viskoelastis dan mobilitas molekul rantai selulosa asetat yang menyebabkan tingkat elastisitas bioplastik meningkat dan tingkat kekakuan material bioplastik menurun. Menurut Safriani (2000), pemlastis ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas, elongasi dan kekuatan polimer. Adanya pemlastis juga mengurangi kekerasan dan kekakuan polimer karena meningkatkan jarak antarrantai dengan mengurangi ikatan antar molekul sekunder.



Gambar 5. Hubungan konsentrasi pemlastis pada bioplastik *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat terhadap modulus elastisitas

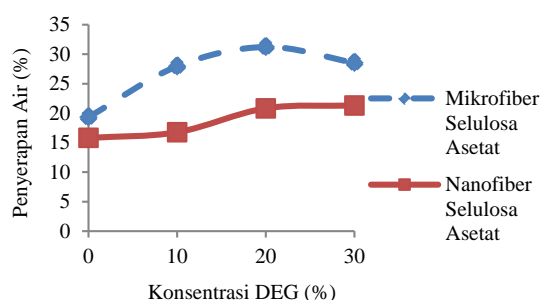
Modulus elastisitas bioplastik *nanofiber* lebih tinggi dibanding bioplastik *mikrofiber* selulosa asetat. Ukuran serat berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas bioplastik. Semakin kecil ukuran serat penyusun selulosa asetat maka semakin tinggi modulus elastisitas yang dihasilkan. Hasil ini diduga karena sifat *nanofiber* yang lebih reaktif menyebabkan mobilitas molekul rantai polimer semakin tinggi terhadap pemlastis dietilen glikol sehingga tingkat kekakuan bioplastik menurun. Tingkat kekakuan material bioplastik tersebut dinamakan dengan modulus elastisitas.

Daya Serap Air

Peningkatan persentase daya serap air pada bioplastik baik *mikrofiber* maupun *nanofiber* disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi pemlastis DEG dari 0% hingga 20%. Tetapi pada peningkatan konsentrasi DEG 20% menjadi 30%, daya serap air bioplastik *mikrofiber* mengalami penurunan. Hasil yang serupa dilaporkan oleh Safriani (2000), yang membuat film selulosa asetat dari selulosa mikrobial yaitu penambahan konsentrasi pemlastis DEG dari 17% menjadi 25% menyebabkan penurunan daya serap air dari 16,89% menjadi 10,84%. Hasil berbeda ditunjukkan pada bioplastik *nanofiber*, dimana peningkatan konsentrasi DEG menyebabkan peningkatan persentase daya serap air. Tetapi

peningkatan konsentrasi DEG diatas 30% diduga akan menurunkan daya serap air bioplastik *nanofiber*.

Pada selulosa asetat masih terdapat gugus – OH yang tidak tersubstitusi sehingga sangat peka terhadap air. Pemlastis DEG merupakan jenis pemlastis yang larut dalam air, alkohol dan eter (Safriani, 2000). Peningkatan persentase daya serap air yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi pemlastis diduga terjadi karena ikatan yang terjadi antara pemlastis dan polimer menjadi rapuh ketika terkena air. Pemlastis DEG larut dalam air, sehingga semakin tinggi konsentrasi DEG yang ditambahkan maka semakin tinggi daya serap air pada bioplastik. Persentase daya serap air pada bioplastik *mikrofiber* dapat diturunkan dengan membentuk *nanofiber* selulosa asetat. Rendahnya daya serap air pada bioplastik *nanofiber* selulosa asetat tidak lepas dari kecilnya ukuran serat, sehingga pori-pori pada bioplastikpun semakin kecil dan kerapatan menjadi lebih tinggi.



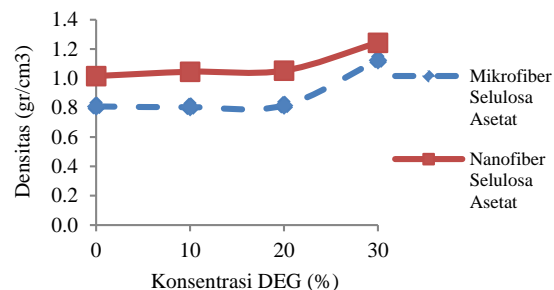
Gambar 6. Hubungan konsentrasi pemlastis pada bioplastik *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat terhadap daya serap air

Densitas

Pada Gambar 7 terlihat peningkatan konsentrasi pemlastis DEG seiring peningkatan densitas bioplastik baik *mikrofiber* maupun *nanofiber*. Namun, pengaruh konsentrasi DEG tidak signifikan terhadap densitas bioplastik. Data juga menunjukkan bahwa nilai densitas bioplastik yang dibentuk dari *nanofiber* lebih tinggi dibanding bioplastik *mikrofiber* selulosa asetat. Ukuran serat berpengaruh signifikan terhadap densitas bioplastik. Semakin kecil ukuran serat penyusun selulosa asetat maka semakin tinggi densitas yang dihasilkan. Hal ini diduga disebabkan *nanofiber* memiliki permukaan yang luas sehingga mampu mengikat pemlastis DEG lebih baik.

Interaksi antara luas permukaan dengan pemlastis DEG menjadi lebih optimal sehingga meningkatkan kerapatan antar molekul polimer. Ini menunjukkan bahwa *nanofiber* dengan ukuran diameter serat bioplastik yang lebih kecil dapat meningkatkan kerapatan dan memperbaiki sifat fisik bioplastik. Secara umum, densitas berkaitan dengan sifat fisik bioplastik baik daya serap air, permeabilitas gas dan air, sifat termal, dan derajat kristinitas. Seperti yang diungkapkan oleh Syamsu (2008^b)

bahwa densitas juga mempengaruhi nilai derajat kristinitas. Struktur molekul amorf memiliki kerapatan yang relatif rendah daripada molekul kristalin. Struktur molekul amorf memiliki kerapatan yang relatif rendah daripada molekul kristalin. Peningkatan kerapatan molekul menyebabkan derajat kristinitas bioplastik menjadi meningkat sehingga daya serap air oleh bioplastik pun menurun.



Gambar 7. Hubungan konsentrasi pemlastis pada bioplastik *mikrofiber* dan *nanofiber* selulosa asetat terhadap densitas

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Bioplastik dari *nanofiber* selulosa asetat memiliki sifat mekanik lebih baik dibanding bioplastik *mikrofiber* selulosa asetat. Peningkatan konsentrasi pemlastis menyebabkan penurunan kuat tarik, modulus elastisitas dan meningkatkan elongasi, daya serap air, dan densitas bioplastik baik *mikrofiber* maupun *nanofiber*. Bioplastik dengan perlakuan terbaik adalah bioplastik *nanofiber* selulosa asetat dengan penambahan konsentrasi pemlastis 10% dengan parameter fisik mekanik: kekuatan tarik 18,56 MPa, elongasi 3,95%, modulus elastisitas 0,67 GPa, daya serap air 16,77%, dan densitas 1,04 g/cm³.

Saran

Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut mengenai kelayakan aplikasi bioplastik yang dihasilkan sebagai kemasan pangan maupun non-pangan. Selain itu perlu dilakukan kajian biodegradasi pada bioplastik selulosa asetat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D570-98. 2010. *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D882-97. 2010. *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. American Society for Testing and Materials.
- Bahmid NA, Syamsu K, dan Maddu A. 2013. Production of cellulose acetate from oil palm empty fruit bunches cellulose. *J Chem Process Eng*. 17: 12-20.

- Bhongsuwan D dan Bhongsuwan T. 2008. Preparation of cellulose acetate membranes for ultra-nanofiltrations. *Kasetsart J Nat Sci.* 42(5):311-317.
- Delvia V. 2006. Kajian pengaruh penambahan dietilen glikol sebagai pemlastis pada karakteristik bioplastik dari poli-β-hidroksialkanoat (PHA) yang dihasilkan *Ralstonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Fengel D dan Wegener G. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi.* Cetakan Pertama. Jogjakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kowalewsky TA. 2005. Experiments and modelling of electrospinning process. *Bull Polish Academy Sci.* 53(4): 385-394.
- Kuzmenko V. 2012. Carbon nanofibers synthesized from electrospun cellulose [Thesis]. Goteborg: Department of Microtechnology and Nanoscience, Chalmers University of Technology.
- Lu K dan Kessler CS. 2007. Nanoparticle colloidal suspension optimization and freeze-cast forming. *The American Ceramic Soc.* 27 (8):1-10.
- Paramawati R, Wijaya CH, Achmadi SS, Suliantari. 2007. Evaluasi ciri mekanis dan fisis bioplastik dari campuran poli(asam laktat) dengan polisakarida. *J Ilm Pert Indo.* 12(2): 75-83.
- Puls J, Wilson SA, dan Holter D. 2011. Degradation of cellulose acetate-based materials : review. *J Pol Environ.* 19: 152-165.
- Rabek JF. 1983. *Experimental Methods in Polymer Chemistry, Physical Principles and Applications.* New York (US): A Wiley-Interscience Publication.
- Rachmaniah O, Febriyanti L, dan Lazuardi K. 2009. Pengaruh Liquid Hot Water terhadap Perubahan Struktur Sel Bagas. *Prosiding Seminar Nasional XIV, FTI-ITS,* 30-40; Surabaya: 22-23 Juli 2009.
- Safriani. 2000. Produksi biopolimer selulosa asetat dari nata de soya [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2115-1991: Selulosa asetat.* Jakarta [ID]: Dewan Standardisasi Nasional.
- Subbiah T, Bhat GS, dan Tock RW, Parameswaran S, Ramkumar SS. 2005. Electrospinning of Nanofiber. *J App Polym Sci.* 96: 557-569
- Subyakto, Hermiati E, Yanto DHY, Fitria, Budiman I, Ismadi, Masruchin N, Subiyanto B. 2009. Proses pembuatan serat selulosa berukuran nano dari Sisal (*Agave sisalana*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*). *Berita Selulosa.* 44(2): 57-65.
- Syamsu K, Setyowati K, dan Khoiri AA. 2008^a. Pengaruh penambahan pemalstis (Polietilen glikol 400, dietilen glikol, dan dimetil ftalat) terhadap proses biodegradasi bioplastik poli-β-hidroksialkanoat pada media cair dengan udara terlimitasi. *J Tek Pert.* 3(2): 1-11.
- Syamsu K, Pandji C, dan Waldi J. 2008^b. Karakterisasi bioplastik poli-β-hidroksialkanoat yang dihasilkan oleh *Ralstonia eutropha* pada substrat hidrolisat pati sagu dengan pemlastis isopropil palmitat. *J Tek Pert.* 3(2): 68-78.
- Tsioptsias C, Sakellariou KG, Tsivintzelis I, Papadopoulou L, Panayiotou C. 2010. Preparation and characterization of cellulose acetate-Fe₂O₃ composite nanofibrous materials. *Carbohydr Polym.* 81: 925-930.
- Wicaksono R, Syamsu K, Yuliasih I, Nasir M. 2013. Karakteristik nanoserat selulosa dari ampas tapioka dan aplikasinya sebagai penguat film tapioka. *J Tek Ind Pert.* 23(1): 38-45.
- Zubaidi. 2009. *Nanofiber dan Electrospinning serta Pemanfaatannya dalam Pembuatan Tekstil Masa Depan.* Bandung: Balai Besar Tekstil Press.